

H14/A06 音場情報に含まれる個人性の符号化手法に関する研究(共同プロジェクト研究の理念と概要, 共同プロジェクト研究)

雑誌名	東北大学電気通信研究所研究活動報告
巻	10
ページ	116-118
発行年	2004-08
URL	http://hdl.handle.net/10097/30453

課題番号 H14/A06

音場情報に含まれる
個人性の符号化手法に関する研究

[1] 組織

代表者：高根昭一（秋田県立大学）

責任者：鈴木陽一（東北大学電気通信研究所）

分担者：

森本政之（神戸大学）

宮島 徹（清水建設技術研究所）

棟方哲弥（特殊教育総合研究所）

岩谷幸雄（東北大学電気通信研究所）

西村竜一（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費317,000円，旅費812,640円

[2] 研究経過

音を通じたコミュニケーションにおいて有効なアプローチの一つは、音源からヒトまでの音の伝達をシステムとして考え、そのシステムを合成することにより、ヒトが音を通じて知覚する環境、すなわち音環境を仮想的に生成するというものである。しかし、音の伝達系には、ヒトの頭部・胴体などの形状に起因する個人性の影響が存在する。また、ヒトが日常生活の中で知覚する音像定位や臨場感といった感覚の手掛りとして、このような伝達系がもつ物理的な特徴の影響が大きいことが知られている。これらのことから、音像定位や臨場感といった感覚も、伝達系がもつ個人性の影響を受けると考えられる。音場情報のコミュニケーションを考える上で、この個人差を適切にモデル化することが、あらゆるヒトに適用できる汎用性をもたせるために不可欠である。このような問題意識の下に、本プロジェクト研究は、ヒトが音から得る情報（特に空間的な情報）について、音が伝搬する空間をシステムとしてとらえたときの物理的側面と、そのようなシステムを通過した音をヒトが聴取するときの知覚的側面の両面から考察し、ヒトが音から知覚する情報を、その制御に適したかたちで符号化することを目的としている。

高根が研究代表者となった東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究（採択番号：H12/A10）をはじめとした研究により、ヒトが音場において知覚する情報は、ヒトの頭部や胴体などの形状を反映した、ヒトの全周を取り囲む音源それぞれに対する頭部伝達関数（Head-Related Transfer

Function, 以後HRTFと書く）と、音場の特性を反映した室内伝達関数（Room Transfer Function, 以後RTFと書く）の従続接続で表現できることが明らかとなっている。本研究は、これらの中でHRTFに含まれる個人性を分析し、ヒトが知覚する音場情報を制御するのに適したかたちで符号化することを目指したものである。

平成15年度は、本プロジェクト研究の第2年度であった。第1年度では、シンポジウムの開催により、本研究の方向性や方針を固めたとともに、HRTFのモデル化について検討を行った。本年度は、個人ごとの頭部形状データを光学式の3次元スキャナを用いて計測し、それをもとに境界要素法（Boundary Element Method, 以下ではBEMと書く）を用いてHRTFを推定した。また、前年度に構築されたHRTFの測定系で、全周方向のHRTFを約100名分測定した。さらに、音像定位における被験者の頭部移動の影響についても検討を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

ADVISEに基づく高精度聴覚ディスプレイのリアルタイムシステム

本プロジェクト研究の代表者・分担者のグループは、先行研究の成果として、「仮想球モデルに基づく聴覚ディスプレイ」を提案し、その有効性を示してきた。本プロジェクトでは、これをさらに一般化し、音源や音場がどのようなものであっても、聴取者の両耳音圧を精密に合成できるものとして改善を図った。本プロジェクト研究では、これをADVISEと名付けた。ADVISEの理論に基づき、聴取者の頭部の動きにリアルタイムで追従できる基本的なシステムを開発した。現状のシステムでは、高速 DSP (TI TMS320C6701) 5個を搭載したパーソナルコンピュータを用いており、2次元音場を～1 kHzの帯域で再生できる。聴取実験により主観的な精度について検討した結果、従来の聴覚ディスプレイと同等の精度を得ることができた。この成果については、日本音響学会の英文誌Acoustic Science & Technologyに論文および技術報告として

まとめて発表した。本年度は、DSPの数をさらに増やしたシステムを設計し、より実際の聴取状況に近い両耳音圧の合成が可能なシステムを開発した。しかし、DSP間の通信などが原因で、現状では、想定していたDSPの処理能力を発揮するには問題が残されていることがわかった。この問題の解決を図り、リアルタイムシステムの性能を向上させていく所存である。

頭部形状の3次元計測に基づくBEMを用いた個人ごとのHRTFの推定

本プロジェクトでは、可搬性の高い光学式の3次元スキャナを用いた頭部形状の3次元計測システムを前年度に構築した。精度を検証した結果、このシステムは、疑似頭（ダミーヘッド）のように静止している物体も、ヒトのように微妙に移動する測定対象も、大体2 mm程度の精度でその形状を測定できることが示された。本年度は、計測された頭部の3次元形状をデータとし、BEMを用いたHRTFの推定を試みた。HRTFの1～5 kHzの成分を推定結果と実測結果との間で比較したところ、実測結果において存在する個人ごとの頭部形状の違いによるHRTFの変化を、推定結果は大局的には反映できていることがわかった。この結果は、2004年4月に京都で開催された国際音響学会議（International Congress on Acoustics）で発表した。

ただし、HRTFの特性の細部では、方向によっては誤差の大きなところが存在することも判明した。この原因としては、推定時には聴取者の胴体、皮膚、着衣の影響を考慮していないことが考えられる。この点について検討するとともに、推定結果と実測結果の差が主観的に有意な差となって表われるのかどうかについても検討を行う予定である。

音像定位における聴取者の頭部移動の影響

ヒトは、日常の聴取状況において、頭部を静止させていることはほとんどなく、無意識にせよ意識的にせよ、頭部が移動していると考えるのが自然である。さらには、そのときの音源～両耳までの音響伝達系の変化を、音のもつ空間的な情報の把握に役立っていると考えられる。そのため、音場情報に含まれる個人性を考える上で、このような聴取時のヒトの性質を考慮するのは不可欠であると考えられる。この観点から、本プロジェクトでは聴取者の頭部移動の影響を、HRTFを仮想的に合成できるシステムを用いた聴取実験をとおして

検討した。HRTFを仮想的に合成するシステムを用いることで、実測によって得た聴取者自身のHRTFを用いた場合と、他人のHRTFを用いた場合の音像定位の比較、および音像定位に及ぼす頭部移動の影響を比較する事が可能となる。

これまでの多くの研究の結果、聴取者自身のHRTFを用いない場合には、前方向のHRTFを合成した音源を聴取しても後ろに知覚されるという、前後誤判定と呼ばれる現象が起こることが知られている。本実験の結果、聴取者自身のHRTFを合成しない場合にも、頭部の移動によって前後誤判定は減少することがわかった。その一方で、聴取者自身のHRTFを合成しない場合には、合成した場合に比べて定位の誤差（合成したHRTFの方向と知覚した方向との差）は、頭部の回転を行っても有意には減少しないことも示された。頭部の移動が音像定位に有効であることが示された一方で、HRTFに反映される個人性を精密に合成する必要があることも示唆されたといえる。

(3-2) 波及効果と発展性

本プロジェクトの第1年度に開催された「HRTF徹底討論ワークショップ」の参加者が発表した研究成果の多くは、日本音響学会誌の英文誌Acoustic Science & Technologyにおける2003年9月号（Vol. 24, No. 5）の“Special issue on spatial hearing”において論文、技術報告およびLetterとして出版されるに至った。

また、本プロジェクト研究の研究対象の一つである聴覚ディスプレイについては、経済産業省の産学官連携を目指した地域コンソーシアム「聴覚ディスプレイ」として採択された。本プロジェクトのメンバーである鈴木と岩谷が中心となって、聴覚ディスプレイ技術を応用した障害者支援システムやテレビゲームの開発を目指したプロジェクトである。地域コンソーシアムで開発中のアプリケーションでは、HRTFの合成が要素技術として大きな割合を占めており、HRTFに含まれる個人性の検討を行っている本プロジェクトの成果が、そのようなアプリケーションに反映されることが期待される。

本プロジェクトの発展性に関し、3点に絞って述べる。第一に、HRTFの推定あるいは測定手法については、本プロジェクト研究では、測定手法と数値的な推定手法の両面から検討を行っている。特に、平成15年度には、先端音響情報システム研究分野にある球状スピーカアレイを用い、約100名のHRTFを計測した。これについては、現在のところ

具体的な成果とはなっていないが、HRTFの個人性を分析する上で重要なデータとなり、世界的にも例をみないものである。推定手法と計測結果が、個人ごとのHRTFをより手軽に得る上で原動力となると期待できる。第2に、HRTFおよびそれに含まれる個人性の符号化手法については、HRTFのもつ物理的な特性を直接考慮した共通極・零モデルに基づいた手法が極めて有効であり、今後の研究の進展により、HRTFがより効率的に符号化されると考えられる。第3は、伝達関数の合成に基づく音場情報の提示システムへの応用である。これについては、本プロジェクト研究においてADVISEの理論を提案しており、今後も引き続き理論をより実際に即したかたちでインプリメントする方針である。このようなシステムの開発により、高精度バーチャルリアリティシステムにおける聴覚ディスプレイとして発展する可能性が極めて高い。

[4] 成果資料

1. Shouichi Takane, Yōiti Suzuki, Tohru Miyajima and Toshio Sone, "A new theory for high definition virtual acoustic display named ADVISE," *Acoust. Sci. & Tech.*, 24(5), 276-283(2003).
2. Shouichi Takane, Shusuke Takahashi, Yōiti Suzuki and Tohru Miyajima, "Elementary real-time implementation of a virtual acoustic display based on ADVISE," *Acoust. Sci. & Tech.*, 24(5), 304-310(2003).
3. 高根昭一, 「個人の頭部伝達関数の推定手法について」, 音講論集, 487-490(2004.3).
4. Shouichi Takane, Taiyo Matsuhashi and Toshio Sone, "Numerical estimation of individual HRTFs by using BEM," *Proc. 18th International Congress on Acoustics*, Tu5.D.2(2004).
5. Yukio Iwaya, Yōiti Suzuki and Shouichi Takane, "Effects of listener's head movement on the accuracy of sound localization in virtual environment," *Proc. 18th International Congress on Acoustics*, Tu2.D.4(2004).